

V. 30.1

Leerlaufspannung und Innenwiderstand von  
Spannungsquellen

David Rolf

david.rolf@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.10.2017

Jonah Blank

jonah.blank@tu-dortmund.de

Abgabe: 17.10.2017

## 1. Zielsetzung:

In diesem Experiment sollen die Quellspannungen und Innenwiderstände einer Monozelle und eines RC-Generators herausgefunden werden. ermittelt/gemessen

Dazu werden Klemmspannung und Strom dieser Quellen gemessen.

## 2. Theorie

Eine reale Spannungsquelle muss durch ein Ersatzschaltbild (s. Abb. 1) dargestellt werden, da es immer zu Ohmschen Verlusten, bedingt durch das Material der Quelle, kommt.

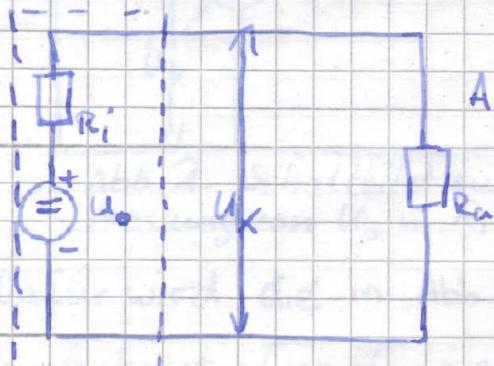


Abb. 1: Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle mit Lastwiderstand  $R_L$  (1, S. 213)

Die Quellspannung  $U_0$  kann direkt über ein hochohmiges Voltmeter gemessen werden, da dann nur noch sehr geringe Ströme fließen und so die am Innenwiderstand abfallende Spannung vernachlässigbar gering wird (vgl. 1, S. 214).

Generell kann  $U_0$  auch über die Klemmspannung  $U_X$  berechnet werden.

Nach der Kirchhoff'schen Maschenregel gilt

$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{j=0}^n R_j I_j = 0 \quad (1)$$

und damit im Beispiel der Abb. 1 mit konstantem Strom  $I$

$$U_0 = I R_i + I R_L \quad (2)$$

wobei sich die Klemmspannung  $U_K$  als

$$U_K = I R_a = U_0 - IR_i \quad (3)$$

berechnet (vgl. 1, S. 214).

Daraus lässt sich ebenfalls  $R_i$  berechnen.

Die elektrische Leistung  $P$  kann als Funktion des Lastwiderstandes  $R_a$  als

$$P = UI = I^2 R_a = P(R_a) \quad (4)$$

geschrieben werden (vgl. 1, S. 214)

Die Funktion hat ihr Maximum, wenn

$R_a = R_i$  gewählt wird, was Leistungsanpassung genannt wird (vgl. 1, S. 214).

### 3. Versuchsdurchführung

Der Versuch beginnt mit einer Messung der Quellspannung  $U_{\text{Q}}$  der Monozelle. Dazu wird diese direkt an beiden Polen an ein Voltmeter angeschlossen und dann die Spannung und der Innenwiderstand des Voltmeters  $R_V$  aufgeschrieben.

Dann sollen Klemmspannung  $U_k$  und Stromstärke  $I$  für verschiedene Widerstände gemessen werden.

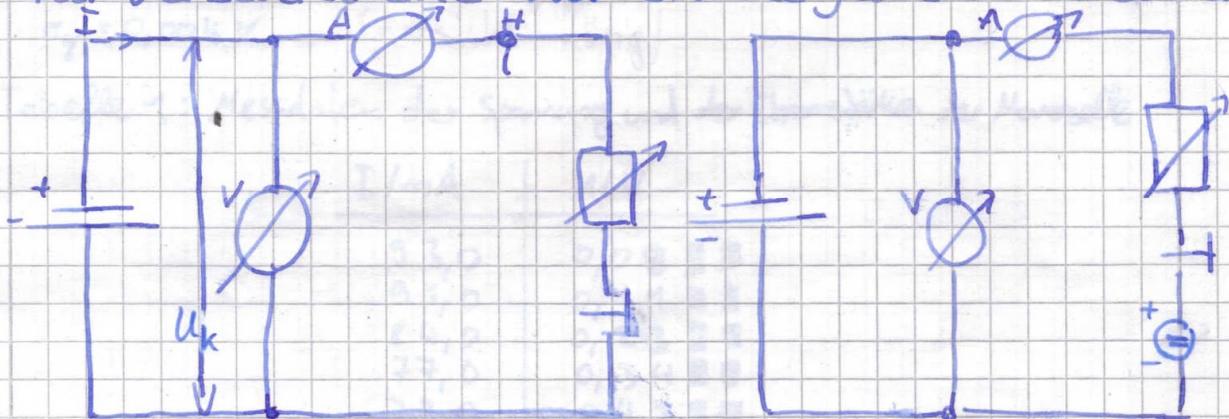


Abb. 2 Schaltbild zur Messung von  $U_k$  u.  $R_V$  (, S.215)

Abb. 3 Messung durch Gegenspannung (, S.215)

Dafür wird die in Abb. 2 zusehende Schaltung aufgebaut. Für den regulierbaren Widerstand wird ein von 0 bis  $50 \Omega$  variierbarer Widerstand verwendet und für 15 Werte die entsprechende Klemmspannung  $U_k$  und der Strom  $I$  aufgeschrieben. Anschließend wird noch eine Gegenspannung angelegt (s. Abb. 3) und noch einmal für 12 Widerstandswerte  $U_k$  und  $I$  gemessen.

Dann wird die Gegenspannungsquelle entfernt und die Monozelle durch einen RC-Generator mit Sinus- und Rechteckausgang ersetzt.

Nun wird für den Rechteckausgang (1V) ein von 0 bis  $250 \Omega$  und für den Sinusausgang (1V) ein von 0 bis  $5k\Omega$  variierbarer Widerstand benutzt, um

je 10 Messwerte paare zu erhalten.

# Auswertung

Der Innenwiderstand  $R$  und die Leerlaufspannung  $U_0$  der verschiedenen Spannungsquellen werden mittels einer linearen Ausgleichsrechnung aus den gemessenen Werten von  $U_R$  und  $I$  bestimmt.

## 4.1 Marzelle

Für die Monozelle ergibt sich mit den Werten aus Tabelle 1:

$$R_i = (76,55 \pm 0,05) \Omega \quad (= -\frac{dU_{th}}{dI})$$

$$U_0 = (1,615 \pm 0,003) V \quad (\text{entspricht dem y-Achsenabschnitt})$$

Die Standardabweichung von der Ausgleichsgeraden beträgt:

$$\sigma_y = 0,004 \text{ V} \quad (\text{gar nicht nötig})$$

Tabelle 1: Messdaten der Spannung und der Stromstärke der Monozelle

| I / mA | U / V |
|--------|-------|
| 93,0   | 0,08  |
| 91,0   | 0,11  |
| 84,0   | 0,23  |
| 77,0   | 0,34  |
| 73,0   | 0,41  |
| 67,0   | 0,50  |
| 60,0   | 0,62  |
| 54,5   | 0,72  |
| 51,0   | 0,77  |
| 44,0   | 0,89  |
| 38,5   | 0,97  |
| 34,0   | 1,05  |
| 28,5   | 1,15  |
| 25,0   | 1,20  |

(zugehöriger Graph: Abbildung 4)

## 4.2 Monozelle mit Segerspannung

Fügt man wie in Abbildung 3 eine Segenspumpe hinzu, erhält man mit den Werten aus Tabelle 2:

$$R_i = (19,89 \pm 1,47) \Omega$$

$$U_0 = (1,470 \pm 0,703) V$$

## volgende Stellen

Die Standardabweichung von der Ausgleichsgeraden beträgt hier:

$$\sigma_y = 0.721V$$

Tabelle 2: Messdaten der Spannung und des Stromstärke des Normzelle mit Gegenspannung

| I / mA | U / V |
|--------|-------|
| 105,0  | 3,75  |
| 100,0  | 3,65  |
| 96,5   | 3,25  |
| 88,0   | 3,10  |
| 79,0   | 2,90  |
| 77,0   | 2,80  |
| 66,5   | 2,75  |
| 56,5   | 2,58  |
| 49,0   | 2,45  |
| 43,5   | 2,35  |
| 36,0   | 2,25  |
| 30,5   | 2,15  |

zugehöriger Graph: Abbildung 5

#### 4.3 Rechteck- und Sinusspannung des RC-Generators

Nutzt man die Rechteck- und Sinusspannung des RC-Generators, so ergibt sich aus den Tabellen 3 und 4:

$$\text{Rechteckspannung: } R_i = (58,09 \pm 2,90) \Omega$$

$$U_0 = (0,651 \pm 0,075) V$$

$$\sigma_y = 0,020 V$$

zugehöriger Graph: Abbildung 6

$$\text{Sinusspannung: } R_i = (659,89 \pm 6,78) \Omega$$

$$U_0 = (1,776 \pm 0,005) V$$

$$\sigma_y = 0,008 V$$

zugehöriger Graph: Abbildung 7

Tabelle 3: Messdaten für die Spannung und Stromstärke des Rechteckausgangs

| I / mA | U / V |
|--------|-------|
| 7,30   | 0,20  |
| 7,85   | 0,20  |
| 6,85   | 0,26  |
| 6,75   | 0,29  |
| 5,40   | 0,33  |
| 4,35   | 0,39  |
| 3,60   | 0,43  |
| 2,75   | 0,48  |
| 2,25   | 0,50  |
| 1,85   | 0,59  |

Tabelle 4: Messdaten für die Spannung und Stromstärke des Sinusausgangs

| I / mA | U / V |
|--------|-------|
| 1,21   | 0,31  |
| 1,19   | 0,33  |
| 1,05   | 0,42  |
| 0,85   | 0,56  |
| 0,70   | 0,67  |
| 0,53   | 0,77  |
| 0,40   | 0,84  |
| 0,30   | 0,92  |
| 0,22   | 0,87  |
| 0,17   | 1,00  |

#### 4.4 Systematische Fehler

Bei der unmittelbaren Messung von  $U_0$  erhält man durch die Annahme  $R_a \rightarrow \infty$  einen systematischen Fehler.

Dieser folgt direkt aus Formel 2:

$$U_0 = R_i I + R_a I \Rightarrow U_0 = \frac{U_k}{R_a} R_i + U_k \Rightarrow \Delta U_0 = \frac{U_k}{R_a} R_i$$

wobei hier  $R_a = R_v$  gilt.

Man erhält einen systematischen Fehler von  $\Delta U_0 = 2,82 \mu V$

Einen weiteren systematischen Fehler erhält man, wenn man das Voltmeter an der Stelle H in Abbildung 2 anschließen würde (also hinter dem Ampermeter).

Dies liegt daran, dass der Innenwiderstand des Ampermeters mit einberechnet werden müsste, da dieser die Messergebnisse sonst verfälscht.

#### 4.5 umgesetzte Leistung

Zuletzt wird die im Belastungswiderstand  $R_a$  umgesetzte Leistung  $P = U_k \cdot I$  gegen  $R_a = \frac{U_k}{I}$  abgegraben und mit der Theoriekurve:

$$P(R_a) = I^2 R_a = \frac{U_k^2}{(R_a + R_i)^2} R_a$$

verglichen. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 zu sehen.

Tabelle 5: Errechnete Werte für Leistung und Widerstand

| $R / \Omega$ | $P / mW$ |
|--------------|----------|
| 0,81         | 6,98     |
| 1,24         | 10,24    |
| 2,68         | 18,90    |
| 4,42         | 26,18    |
| 5,62         | 29,93    |
| 7,54         | 33,84    |
| 10,34        | 37,20    |
| 13,72        | 38,97    |
| 15,10        | 39,27    |
| 20,17        | 38,94    |
| 25,19        | 37,35    |
| 30,88        | 35,70    |
| 40,35        | 32,79    |
| 48,00        | 30,00    |

## 5 Diskussion

Betrachtet man die Ausgleichsgerade aus Abbildung 4 und die zugehörigen Werte der linearen Regression, für die Monozelle ohne Gegenspannung, so lässt sich erkennen, dass die Messwerte einer ziemlich guten Messung zugrunde liegen.

Die Standardabweichungen für den Innenwiderstand, als auch für die Leerlaufspannung liegen bei unter 0,5%.

Eine Standardabweichung von der Ausgleichsgeraden von nur 0,004 V macht diese sehr aussagekräftig.

Im Gegensatz dazu ist bei den Messungen mit Gegenspannung eine Standardabweichung von über 7% von  $R_i$  und  $U_o$  zu erkennen.

Die Abweichung von der Geraden ist entsprechend groß (siehe Abbildung 3)

Diese Abweichung (scheint) durch die letzten beiden Messwerte zu stande zu kommen, welche nach oben aufreissen.

(Sieht man genau hin) so erkennt man, dass in diesem Bereich ein Skalenwechsel vorliegt, da die Messwerte über 100 mV hinausgehen.

Deswegen ist anzunehmen, dass die Werte durch die Änderung der Skala in einen größeren Bereich ungenauer sind und vom tatsächlichen Wert nach oben abweichen.

Lässt man die beiden Werte zur Berechnung der Ausgleichsgeraden außen vor, so sinkt die Standardabweichung der Werte von der Geraden auf 7,2% und macht diese somit aussagekräftiger.

Die Abweichungen von  $R_i$  und  $U_o$  werden ebenfalls auf unter 2% gedrückt und die Werte von  $R_i$  und  $U_o$  überschneiden sich mit denen aus der ersten Messreihe.

But,  
Kann man  
auch direkt  
machen.

Bei der Messreihe mit der Rechteckspannung des RC-Generators scheint sich mit dem letzten Wert ebenfalls ein Messfehler eingeschlichen zu haben, welcher die Standardabweichung von  $R_i$  auf 5% und die von  $U_o$  auf 2,3% anhebt.

Wird dieser Ausreißer vernachlässigt, so sinken die Standardabweichungen auf unter 1% ab, welches bestätigt, dass es sich hier um einen einfachen Messfehler handelt.

Die Werte der Messreihe mit der Sinusspannung sind wieder ähnlich gut, wie die von der Monozelle ohne Gegenspannung, denn auch hier liegen die Standardabweichungen bei unter 1%.

Betrachtet man den systematischen Fehler, der entsteht, wenn man  $U_o$  direkt misst (also  $R_o \rightarrow \infty$  annimmt) fällt auf, dass dieser im mV Bereich liegt und somit vernachlässigbar klein ist.

Der Fehler, der durch die Unsicherheit von  $R_i$  entsteht, ~~wirkt~~ ist nochmals zwei Größenordnungen kleiner und somit ebenfalls vernachlässigbar.

Deswegen ist die Näherung  $R_o \rightarrow \infty$  gerechtfertigt.

Vergleicht

Betrachtet man zuletzt in Abbildung 8 die Leistung mit der Theoriekurve, so ist kaum eine Abweichung zu erkennen, ~~welches~~ die sehr genaue Messung der ersten Messreihe bestätigt.

## 6 Literatur

- TU-Dortmund, Versuchsanleitung zum Versuch 301 - Leerlaufspannung und Innenwiderstand von Spannungsquellen  
<http://129.277.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V301.pdf>  
(abgerufen am 15.10.2017)

ersuch: 301 Leerlaufspannung u. Innenwiderstand

Datum: 11.10.17

Gruppe: Jonah Blank, David Röf Versuchsaufbau nach Abbildung 2

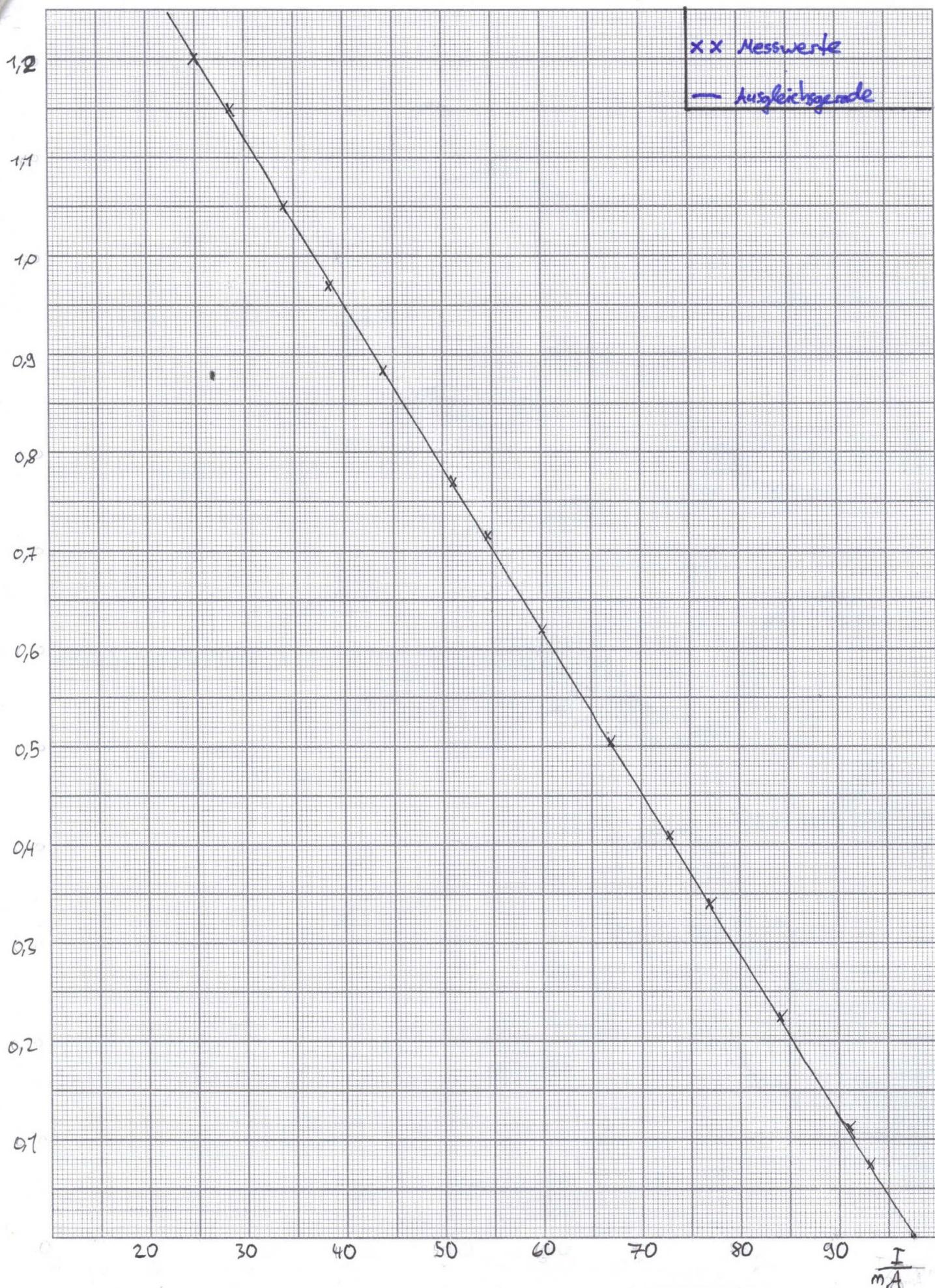


Abbildung 4: Spannung der Manzelle in Abhängigkeit des Stromes

ersuch: 301 Leerlaufspannung u. Innenwiderstand

Datum: 11.10.17

Gruppe: Jonah Blatz, David Rolf Versuchsaufbau nach Abbildung 3

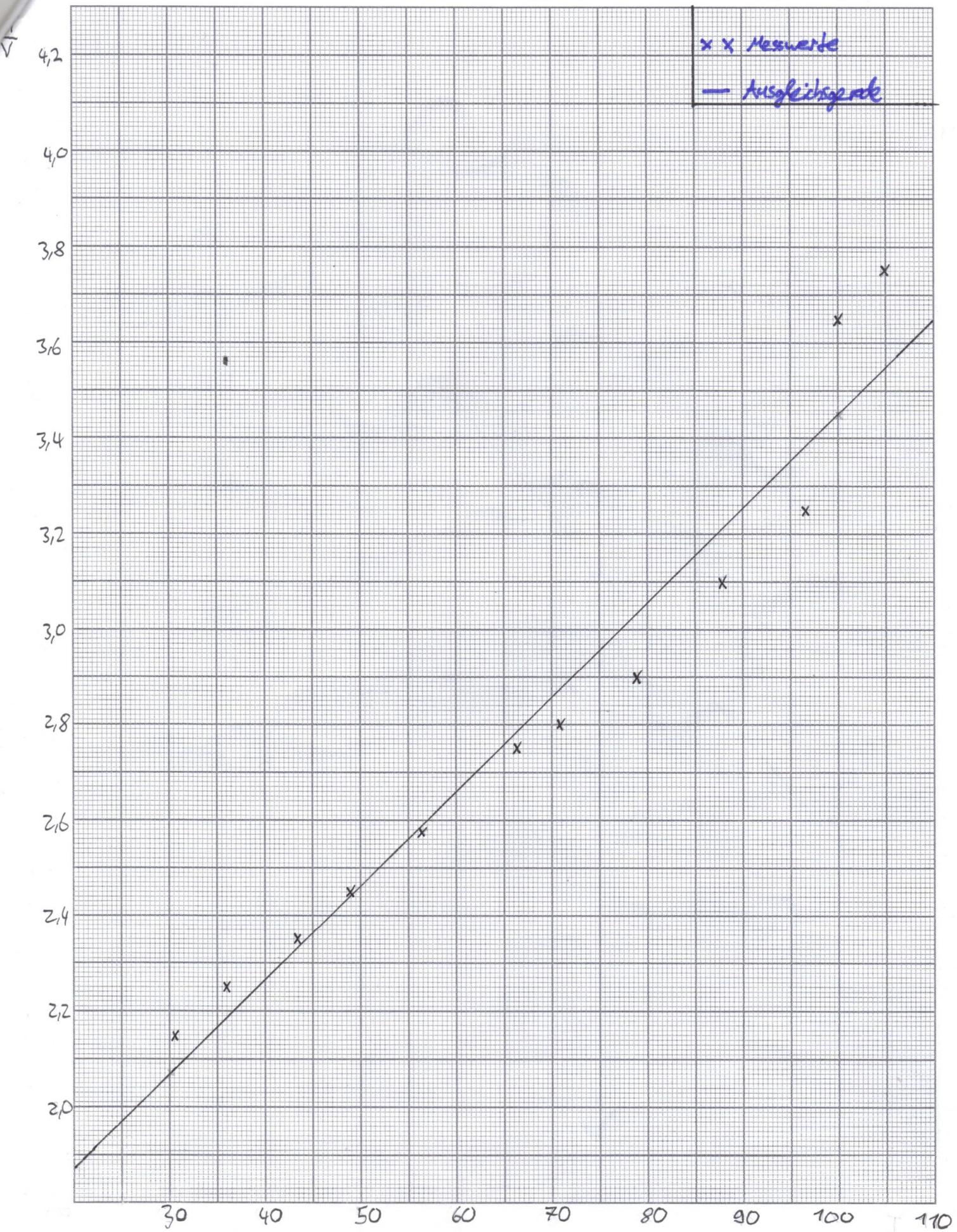


Abbildung 5: Spannung der Manzelle mit Gegenspannung in Abhängigkeit des Stromes  $\frac{I}{mA}$

Gruppe: Jonah Blank, David Röff

Versuchsaufbau nach Abbildung 2 mit 1V Rechteckspannung

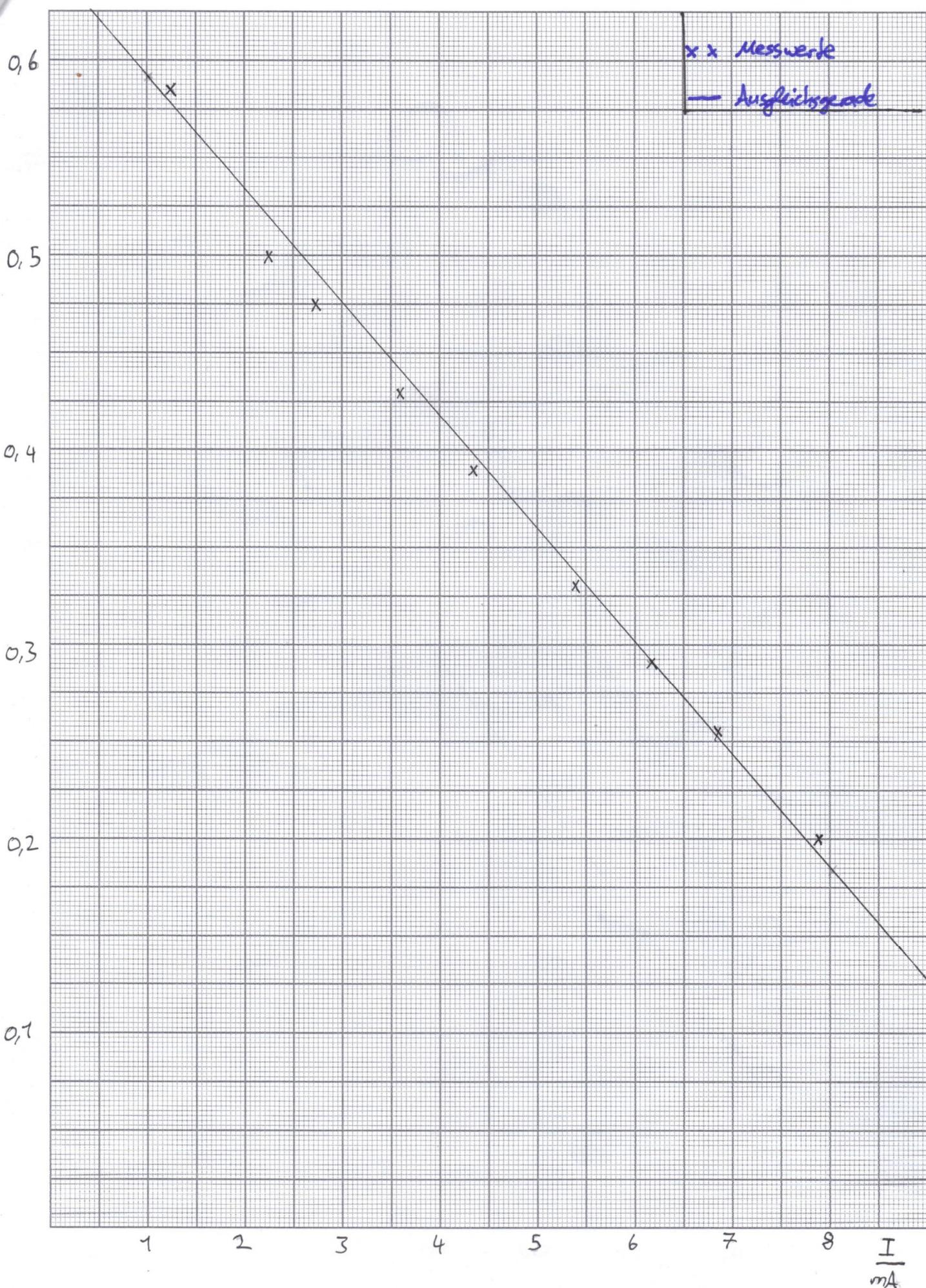


Abbildung 6: Spannung des Rechteckausgangs des RC-Generators in Abhängigkeit des Stromes

Gruppe: Jonas Blank, David Röß

Versuchsaufbau nach Abbildung 2 mit 1V Sinusspannung

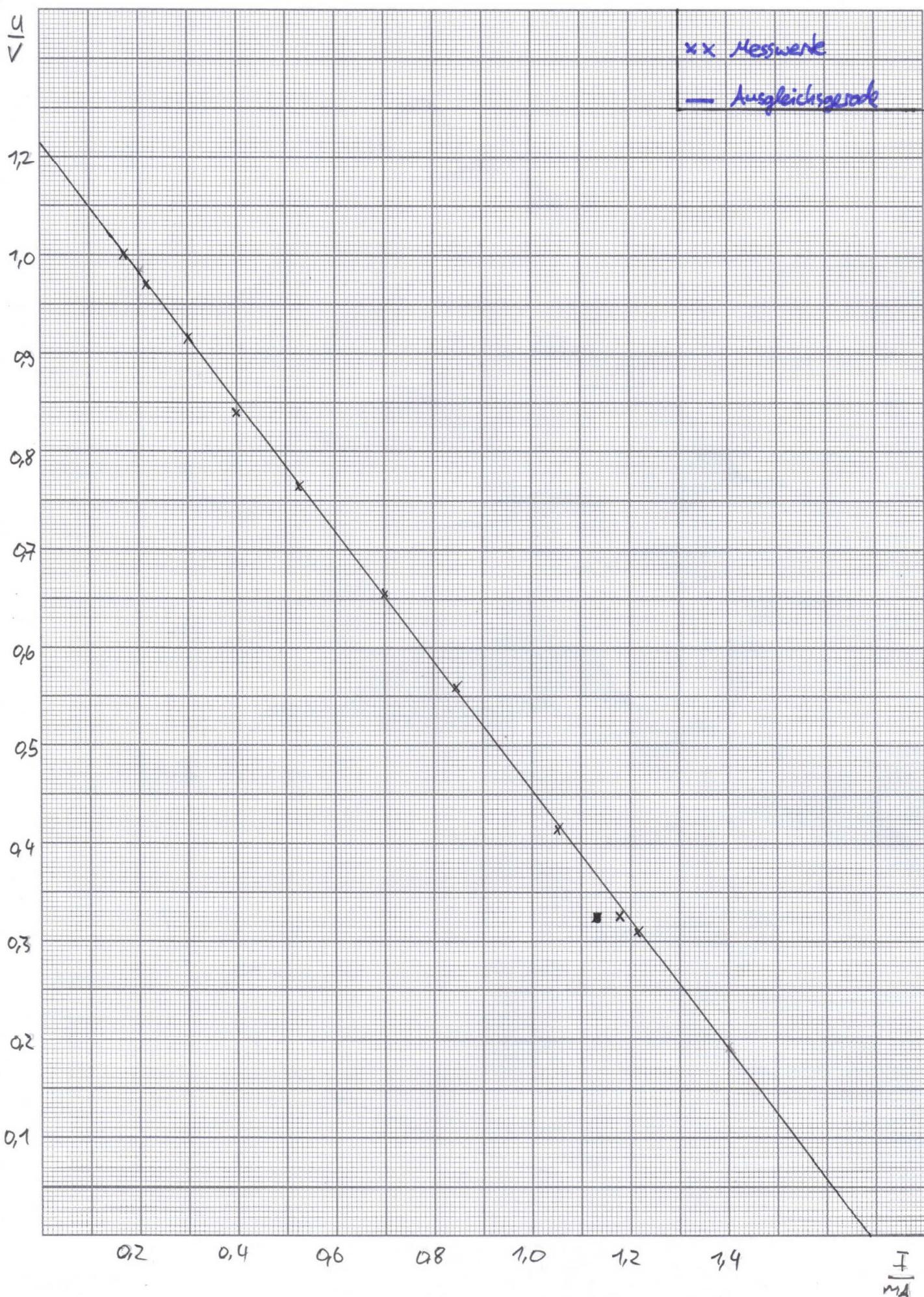


Abbildung 7: Spannung des Sinusanfangs des RC-Sverators in Abhängigkeit des Stromes

